

ХІМІЧНІ НАУКИ

УДК 66.096.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ РІДИНИ ПО ПОВЕРХНІ МЕХАНІЧНОГО ДИСПЕРГАТОРА

Манастирний М.М., Корнієнко Я.М., Любека А.М., Сачок Р.В., Мартинюк О.В.
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Для одержання твердих композитів із заданими властивостями при гранулюванні рідких гетерогенних систем найбільш доцільно застосовувати техніку псевдозрідження. Стійкість кінетики процесу гранулоутворення визначається способом введення рідкої фази. Найбільш частіше для введення рідкої гетерогенної фази застосовують механічний диспергатор. Розмір крапель рідкої фази які диспергують механічним диспергатором, визначають механізм утворення гранул, пошаровий або агломераційний у другому випадку відбувається неконтрольоване збільшення еквівалентного діаметру гранул яке призводить до зупинення процесу.

Ключові слова: диспергатор, розподілення, розпилення, псевдозрідження, зневоднення.

Постановка проблеми. Для одержання рівномірного розподілу рідини механічним диспергатором, в робочому об'ємі, необхідно провести математичний опис руху плівки по внутрішній та зовнішній поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню роботи механічних диспергаторів велику увагу приділялось в роботах [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7] проте в них не розглядалось питання щодо збільшення об'ємної зони диспергування при відношенні відцентрової сили до сили тяжіння більш ніж $\frac{C}{G} \approx 2000$.

Найбільш придатним для введення рідкої фази в шар при гранулоутворенні у псевдозрідженому шарі є механічний диспергатор.

Так в роботах [8; 9; 10; 11] приведені результати дослідження гуміново-мінеральних добив при зневодненні та гранулюванні рідких гетерогенних систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора.

Дослідження впливу конструктивних параметрів механічних диспергаторів проводилось в роботі [11].

Мета статті. Метою досліджень було визначення математичної моделі руху рідини по поверхні механічного диспергатора.

Виклад основного матеріалу. Експериментально встановлено, що найкраща рівномірність розподілення по довжині диспергатора досягається при застосуванні механічного диспергатора, рисунок 1.

Особливості конструкції диспергатора, що має форму зрізаного конуса з меншим діаметром $\varnothing 40$ мм, більшим $\varnothing 80$ мм, є наявність відбійних кілець 3 рисунок 1 між якими розташовані отвори 4 рисунок 1 $\varnothing 4,5$ для відведення рідкої фази що рухається всередині механічного диспергатора. Окрім того на днищі диспергатора встановлені, ще 6 отворів $\varnothing 4,5$ горизонтальна довжина робочої зони диспергатора $L = 48$ мм.

Досліди проводились при числі обертів $n = 50 \div 90 \cdot 1/\text{с}$. Робочий розчин за допомогою трубки живлення 2 подається у внутрішню частину. За рахунок відцентрової сили формується плівка 5, що рухається в зону більшого діаметру внутрішньої поверхні.

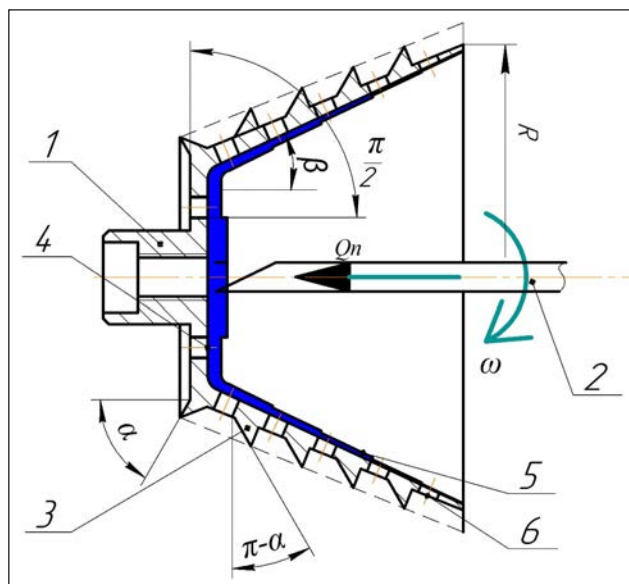


Рис. 1. Механічний диспергатор

Джерело: розроблено авторами

За рахунок отворів 6 на поверхні диспергатора відбувається часткове зрошення рідини в об'єм диспергування. Відбійні кільця 3 розривають джгути рідини, що за рахунок поверхневих сил натягу утворюються на зовнішній поверхні диспергатора.

Для оцінки роботи механічного диспергатора було проведено фотофіксацію внутрішньої та зовнішньої поверхні при питомій лінійній щільності зрошення:

$$\Gamma_{v,l} = \frac{Q_n}{3600\pi D_o L} = \frac{12,6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,08 \cdot 0,048} = 0,29 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right)$$

Q_n – загальні витрати рідкої фази

D_o – більший діаметр диспергатора, $D_o = 0,08 \text{ м}$

L – робоча горизонтальна довжина диспергатора, $\text{м} \cdot L = 0,048 \text{ м}$.

Як видно з рисунка 2 безперервна плівка рідини існує тільки до початку зони розташування отворів в подальшому відбувалось відведення

частини рідини рух рідини продовжувався у вигляді струменів j_1, j_2, j_3 які оминули отвори до крайки диспергатора.



Рис. 2. Рух плівки у внутрішній частині диспергатора

Джерело: розроблено авторами

На зовнішній поверхні диспергатора рідина що виходить з отворів практично вся попадає на відбійні кільця з подальшим диспергуванням в навколишнє середовище рисунок 3.

Таким чином, початкові витрати рідкої фази розподіляються через отвори в конічному диспергаторі і додатково зрошуються за допомогою кілець 3.

Для опису руху плівки рідини використаємо рівняння [12].

Приймемо, що товщина шару рідини мала в порівнянні з розмірами диспергатора, а рух осисеметричний. За цих умов статичний тиск постійний по шару, складова швидкості v_ϕ мала в порівнянні з складовою v_z , направленою вздовж твірної циліндричної частини ротора, а складова v_ϕ мала в порівнянні з складовою v_z . Припустимо також, що частинка рухається по радіусу і ковзання рідини відносно поверхні барабану відсутнє. Тоді можна записати рівняння руху [12]:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\xi^2 \partial \varphi^2} + \frac{\rho_1 \omega^2 \xi}{\mu_1} \sin^2 \varphi_0 = 0 \quad (1)$$

З такими граничними умовами $v_z = 0$ на стінці ($\psi = 0$); $\frac{\partial \omega \xi}{\xi \partial \psi} = 0$ на вільній поверхні ($\psi = \psi_1$). Рішення рівняння 1 з урахуванням граничних умов приймає вигляд:

$$v_z = \frac{\rho_1 \omega^2}{\mu_1} \sin^2 \varphi_0 (\xi_1^3 \psi_1 \psi - \xi^3 \frac{\psi^2}{2}) \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість обертання диспергатора;

ξ – кутова координата на вільній поверхні.

Величина ψ_1 визначається з умови, що загальні витрати рідини в шарі дорівнює витраті рідини Q_i в барабані. [13]: Тоді:

$$Q_i = \int_0^{\psi_1} 2\pi r \xi v_z d\psi = \frac{2\pi \rho_1 \omega^2 \sin^3 \varphi_0 \psi_1^3}{3\mu_1} \quad (3)$$

Позначивши $\delta = \xi_1 \psi_1$ і $R = \xi_1 \sin \gamma$, отримаємо

А тоді по зонам, для кута $\frac{\pi}{2}$ на вертикальній стінці

$$Q_i = \frac{2\pi \rho_1 \omega^2 R_i^2 \delta_i^3 \sin \gamma}{3\mu_1} \quad (4)$$

З цього рівняння товщина плівки рідини, що рухається по внутрішній поверхні конічного диспергатора [13]:

$$\delta_i = \left(\frac{3\mu_1 Q_i}{2\pi \rho_1 \omega^2 R_i^2 \cdot \sin^2 \gamma} \right)^{0,333} \quad (5)$$

Для знаходження товщини плівки в запропонованій конструкції механічного диспергатора, необхідно визначити об'ємні значення кількості рідини на відповідному радіусі рисунок 4.

$$Q_i = Q_n - \sum q_i \quad (6)$$

де Q_i – об'ємні витрати рідини для відповідного радіуса на внутрішній та зовнішній поверхні диспергатора м³/с;

Q_n – початкові об'ємні витрати рідини, м³/с;

q_i – витрати рідини в зовнішній робочий об'єм, визначався за значенням експериментальних часток по розподіленню [11].

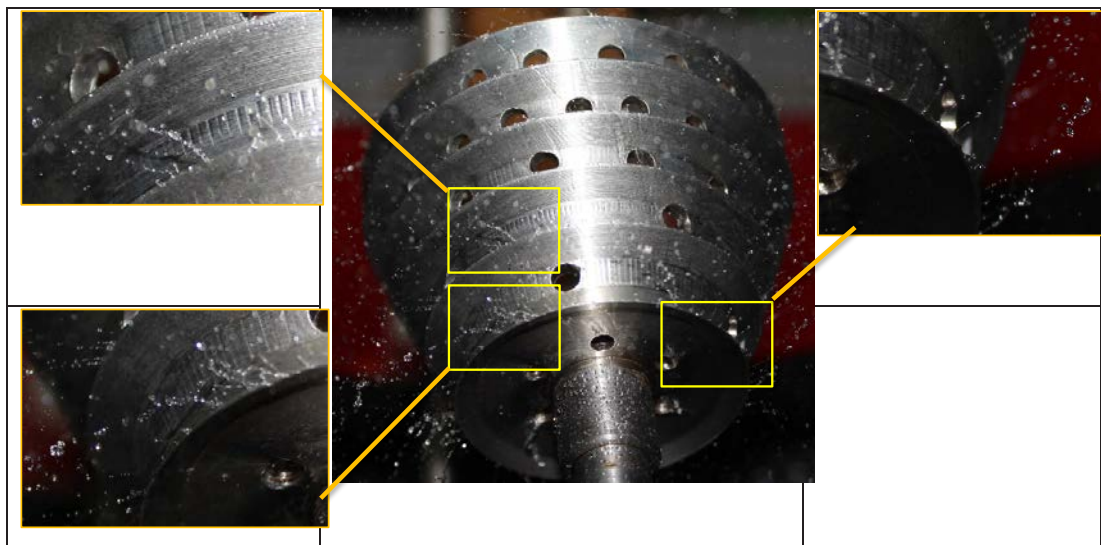


Рис. 3. Зрошення з зовнішньої частини механічного диспергатора

Джерело: розроблено авторами

Розрахунок товщини плівки, що сходить із зовнішніх відбійних кілець. На зовнішній торцевій поверхні (при $\gamma = \frac{\pi}{2}$) [13]

$$\delta' = \left(\frac{3\mu_1 Q_n}{2\pi\rho_1\omega^2 R_i^2} \right)^{0,333}$$

Для всіх інших випадків використовуємо рівняння (5), де $\gamma = \beta$ для знаходження плівки у внутрішній конічній частині диспергатора, $\gamma = \alpha$ при визначення товщини плівки на зовнішніх відбійних кільцях.

Відповідно до запропонованих радіусів знайдено товщини плівок на відповідних радіусах, рисунок 5.

Висновки. Проведені дослідження показали, що при застосуванні механічних диспергаторів з перфорованою поверхнею, на зовнішній та внутрішній поверхні за рахунок сил поверхневого натягу утворюються шар плівки. Зі збільшенням числа оборотів шар утонщується. Розрахунок товщини плівки показав, що із збільшенням числа обертів механічного диспергатора в 1,8 раз товщина плівки збільшується в 1,5 рази.

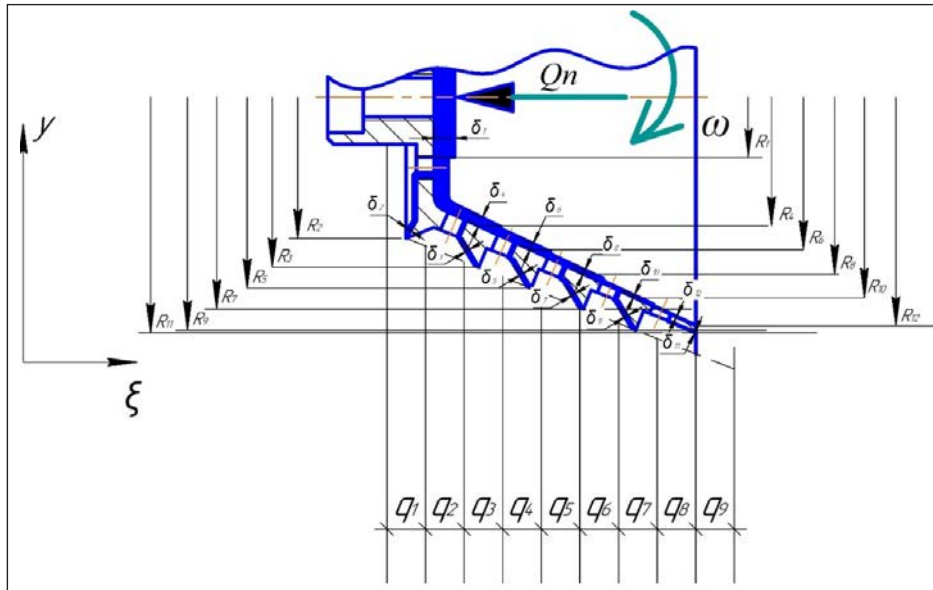


Рис. 4. Карта радіусів механічного диспергатора

Джерело: розроблено авторами

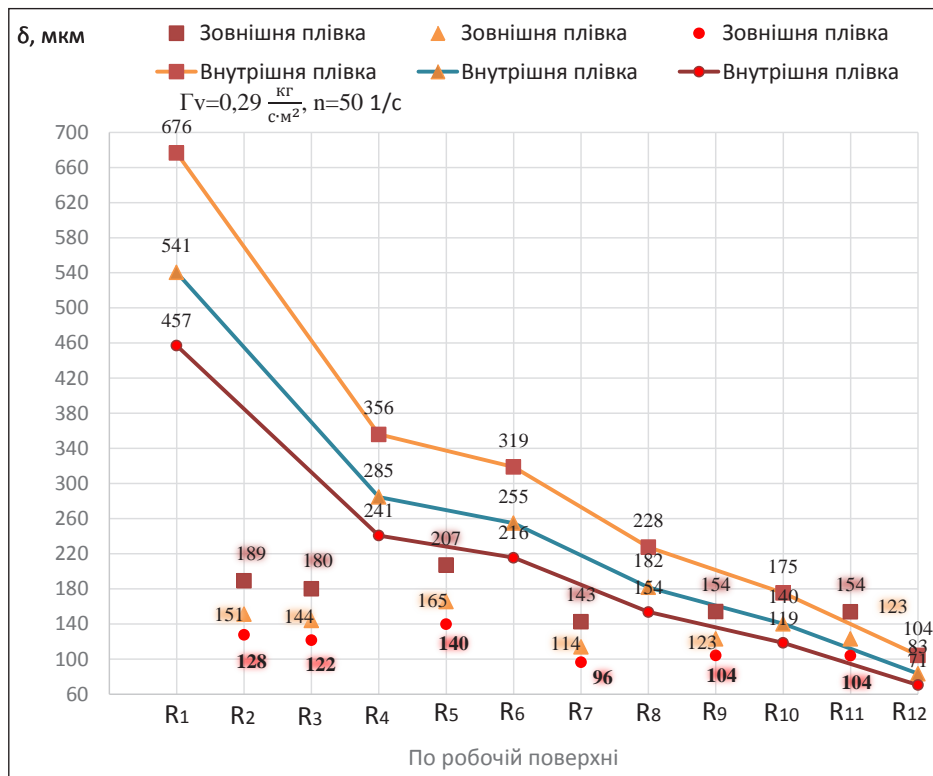


Рис. 5. Висоти плівок на відповідних радіусах диспергатора

Джерело: розроблено авторами

Список літератури:

1. Ahmed M., Youssef M. (2012). Characteristics of mean droplet size produced by spinning disk atomizers. *J. Fluids Eng.-Trans. ASME* 134 (7), 071103.1–071103.9 (Paper 071103).
2. Ahmed M., Youssef M. (2012). Characteristics of mean droplet size produced by spinning disk atomizers. *J. Fluids Eng.-Trans. ASME* 134 (7), 071103.1–071103.9 (Paper 071103).
3. Ahmed M., Amighi A., Ashgriz N., Tran H. (2008). Characteristics of liquid sheets formed by splash plate nozzles. *Exp. Fluids* 44, 125–136.
4. Ahmed M., Ashgriz N., Tran H. (2009a). Break-up length and spreading angle of liquid sheets formed by splash plate nozzles. *J. Fluids Eng.-Trans. ASME* 131 (11), 011306.1–011306.9 (Paper 011306).
5. Ahmed M., Ashgriz N., Tran H. (2009b). Influence of breakup regime on the droplet sizes produced by splash-plate nozzles. *AIAA J.* 47 (3), 120–128.
6. Ahmed, M., Abou Al-Sood, M., Ali, A., (2011), A one dimensional model of viscous liquid jets breakup. *J. Fluids Eng.-Trans. ASME* 133 (11), 114501.1–114501.7 (Paper 114501).
7. Ahmed M., Youssef M., Abou Al-Sood M. (2013). A two dimensional modeling of viscous liquid jets breakup *Acta Mech.* 224, 449–512, <http://dx.doi.org/10.1007/s00707-012-0766-1>.
8. Korniyenko Y., Hayday S., Semenenko D., Martynyuk O. (2013). Hranul'ovani azotno-kal'tsiyevo-huminovi tverdi kompozity, modyfikovani bentonitom. *Protsepy oderzhannya, Khimichna promyslovist' Ukrayiny*, 5, p. 46–51.
9. Kornienko Y., Gaidai S., Martyniuk O. (2014). Improved process to obtain granular humic fertilizers, available <http://elakpi.ua/handle/123456789/11943>.
10. Manastyrny M.N., Kornienko Y.N., Lyubek A.N. (2017). The evaluation efficiency of working mechanical liquid distributor, *a Young Scientist*, 11, p. 6–9.
11. Kornienko Y., Haidai S., Liubeka A., Martynyuk O. (2016). Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator, *Ukrainian Food Journal*, V. 5 (№ 1), p. 144–154.
12. Распыление жидкостей / Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В. – Москва: Машиностроение, 1977. – 208 с.
13. Основы техники распыливания жидкостей / Пажи Д.Г., Галустов В.С. – М.: Химия, 1984. – 256 с.

Манастырний М.Н., Корниенко Я.Н., Любека А.Н., Сачок Р.В., Мартынюк О.В.
Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПО ПОВЕРХНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ДИСПЕРГАТОРА

Аннотация

Для получения твердых композитов с заданными свойствами при гранулировании жидких гетерогенных систем наиболее целесообразно применять технику псевдооживления. Устойчивость кинетики процесса гранулообразования определяется способом введения жидкой фазы. Наиболее часто для ввода жидкой гетерогенной фазы применяют механический диспергатор. Размер капель жидкой фазы, которые диспергируются механическим диспергатором, определяют механизм образования гранул, послыйный или агломерационный во втором случае происходит неконтролируемое увеличение эквивалентного диаметра гранул которое приводит к остановке процесса.

Ключевые слова: диспергатор, распределения, распыления, псевдооживления, обезвоживание.

Manastyrny M.N., Kornienko Y.N., Lyubek A.N., Sachok R.V., Martynyuk O.V.
Kiev I. Sikorsky Polytechnic Institute

THE MATHEMATICAL MODEL OF MOTION LIQUID ON THE SURFACE OF A MECHANICAL DISPERETOR

Summary

To obtain solid composites with set properties when granulating liquid heterogeneous systems, it is most expedient to apply the fluidization technique. The stability of the kinetics the granule formation process is determined by the method of introducing the liquid phase. Most often, a mechanical dispersant is used to introduce the liquid heterogeneous phase. The size of the liquid phase droplets that are dispersed with a mechanical dispersant determine the mechanism for the formation of granules, layerwise or agglomeration, in the second case an uncontrolled increase in the equivalent diameter of the granules occurs, which leads to the stopping of the process.

Keywords: liquid distributor, distribution, spraying, fluidization, dehydration.